文科系のための入門講座

「実用音響学」初歩の初歩

加銅鉄平 Kadou Teppei

No.7 定在波の発生と仕組み(3)

先月号に続きモードの計算式を紹介します.

$$f=\frac{C}{2}\sqrt{\left(\frac{l}{L}\right)^2+\left(\frac{w}{W}\right)^2+\left(\frac{h}{H}\right)^2}\ \text{〔Hz〕}$$

C：音速(m/s)，L：部屋の長さ(m)，W：部屋の幅(m)，H：部屋の高さ (m) l：L方向のモード数，w：W方向のモード数，h：H方向のモード数

ここで，l，w，hに0または正の整数を入れてモードを決めると，固有振動（定在波）の周波数が求められます．ではどの程度までのモードを計算するかですが，一般には2. 2. 2までで十分です．

$l.w.h$	$l.w.h$	$l.w.h$
0.0.0(……)	1.0.0(25.0)	2.0.0(50.0)
0.0.1(55.7)	1.0.1(61.9)	2.0.1(75.6)
0.0.2(113.3)	1.0.2(113.1)	2.0.2(123.9)
0.1.0(40.5)	1.1.0(47.6)	2.1.0(64.3)
0.1.1(69.6)	1.1.1(74.0)	2.1.1(85.7)
0.1.2(120.3)	1.1.2(122.9)	2.1.2(130.3)
0.2.0(81.0)	1.2.0(84.7)	2.2.0(95.1)
0.2.1(98.8)	1.2.1(101.9)	2.2.1(110.7)
0.2.2(139.3)	1.2.2(141.1)	2.2.2(148.0)

以上の27通りのうち，0.0.0は意味がないので正味は26通りです．（ ）内の数値は，

L=6.8m，W=4.2m，H=3.0m

としたときの固有振動の周波数で単位はHzです．これを見ると固有振動は低いほうから

25.0／40.5／47.6／50.0／
61.9／64.3／69.6／74.0

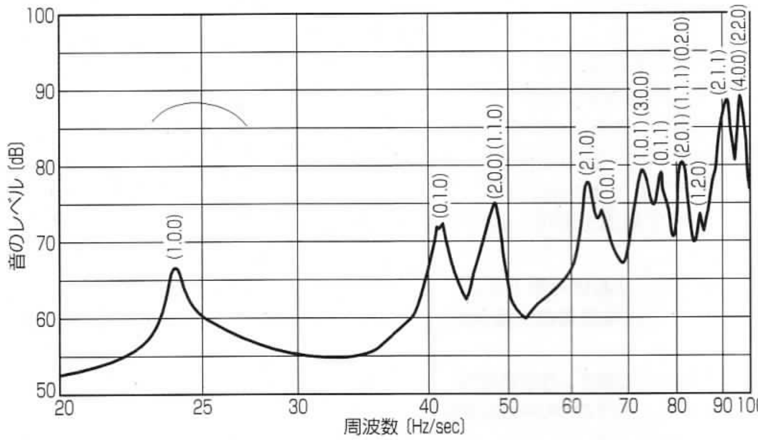
と並んでいるのがわかります．

部屋の音波の伝わり方

さて，このように部屋の中にはたくさんの固有振動，すなわち定在波が発生することがわかりました．

ではこのような部屋の中に音波を放射してみるとどんな伝わり方をするか，というのが「伝送特性」です．**図1**は部屋のあるコーナーから音波を一定のレベルで放射したとき，別のコーナーではどんな音圧で受け取れたかというデータです．8箇所あるコーナーはどの方向の定在波にもすべて関係し，しかも壁際ですから必ず腹になります．そのため，当然ながら定在波の周波数では音圧は高くなりますから，その周波数ではピークになります．

これは実験によるデータですが，先に計算した部屋もほぼ同じような特性になることは容易に想像できます．結論としては「スピーカーがフラットであっても，リスナー席はフラットに受け取れない」というものです．



部屋寸法 L=7.02m
W=4.09m
H=2.56m
モードの指定は ($l.w.h$)

〔図1〕 音波の伝送特性（クヌードセン）

定在波を防ぐ対策はあるのか

このように定在波の発生というのは何とも困ったことですが，そうも言っておれませんから対策を考えます．

まず最初に，定在波は反射波が存在しないと発生しませんから，反射率ゼロ，すなわち吸音率１の壁で部屋を造ってみます．これが「無響室」で，このような部屋では定在波は発生せず，スピーカーの特性はそのまま伝わって行き，リスナー席でも正確に受け取れます．

ではリスニングルームもそうすれば，と考えるのですが，そのような部屋は全く響きのない状態ですから，音はつまらないものになって，とても音楽鑑賞に使えるものではありません．

次に考えることは，部屋を大きくすることです．部屋の寸法が仮に３倍になったとすると（1．0．0）は24Hzから1/8の8Hzあたりに下がり，耳には聴こえない領域に移動します．別な言い方をしますと，**図１**の60Hzのところが1/3の20Hzということになり，そこから上はピークの峰が密集して，何となくなだらかな領域になります．そうすれば，**図１**の20Hzから60Hzあたりまでの，淋しい部分は可聴外の20Hz以下に追いやられることになりますから，状況は大きく救われることになります．

しかし，そんな大きな部屋は家庭用としては現実性に乏しいということになります．

最後の智恵は，100Hz以下あたりで何とか反射率を小さく，すなわち吸音率を大きくして，定在波の発生を弱める工夫ができないかという考え方です．そして現在のところ，この方法がもっとも現実的なものであると思われます．

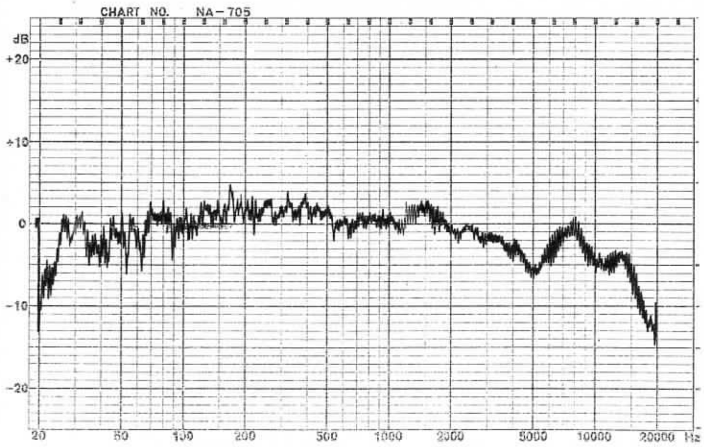
しかし，中音から高音にかけては通常の反射率で低音だけ反射率が低いなどという，うまい吸音材があるわけではありませんので，建築音響設計は苦労するのです．

極く特殊な手段として，強引に吸収する方法も考えられています．その手段というのは**図１**でいうと（1．0．0）（0．1．0）などの目立つ定在波を狙い打ちして吸音してしまおうというものです．使用するのはヘルムホルツのレゾネーターとして知られている共鳴箱で，ちょうどスピーカーの付いていないバスレフの箱のようなものです．共鳴周波数がちょうど除去したい定在波に一致するようにして，そのポートの部分を音圧の腹に設置するという手段です．ただ，この方法は相当の技術力を必要とするため，誰にでもできるという方法ではありません．

ホールではどうなっているのか

この，定在波によって低音の伝わり方が思わしくないという現象は，小型の部屋だけの話で，ホールとか講堂などでは問題にならないのです．その理由は「大きな部屋では定在波がまばらで，伝わり方に凹凸ができる」という周波数帯が「可聴周波数帯より下になって，実害が発生しない」ということです．

図２は中学校の講堂の実測例ですが，低音域でほとんど暴れていないのがわかります．



［図２］ 大きな講堂での実測例